

モーションキャプチャで測定した 動作情報の可視化についての検討

砂田治弥^{†1} 横山清子^{†1} 松河剛司^{†2} 平田隆幸^{†3} 高田宗樹^{†3}

概要： 本研究では、モーションキャプチャで測定した動作情報に対して、身体の動きから直観的に把握することが困難な、動きの速度、加速度の大きさや変化、軌跡の形状の可視化を目的とする。提案する可視化方法は、速度や加速度の大きさ、変化の向きを、球や三角錐の大きさや色、線分などで表現し、これらを動作軌跡に沿って3次元空間内に配置するものである。提案方法に対する、速度や加速度の大きさや変化、向きの理解し易さを15名の実験協力者を対象としたアンケートにより評価した。従来から用いられている人型の3DCGアニメーションと比較して、提案方法は、速度、加速度の大きさや変化を表すのに適しているとの結果であった。動きの方向を表現するためには、線分を利用したベクトル表示や、三角錐の面の色を向きに応じて変化させる方法が適しているとの結果となった。

Study on Visualization of Movement Information Measured by Motion Capture System

HARUYA SUNADA^{†1} KIYOKO YOKOYAMA^{†2}
TUYOSHI MATSUKAWA^{†3} TAKAYUKI HIRATA^{†4} MUNEKI TAKADA^{†5}

Abstract: In this research we aim at visualizing motion information of the body that has been measured by the motion capturing system, in terms of velocity of the movement, largeness and alternation of acceleration and shape of the trajectory which cannot be intuitively seen through body movement. Suggested visualization method utilizes spherical and triangular shapes and colors as well as line segments to show the largeness and change in velocity and acceleration in a 3 dimensional space. We designed a questionnaire and asked 15 persons to evaluate how well the largeness and change in velocity and acceleration can be comprehended. Comparing to the humanoid being deployed in the 3D CG animation, the results show that it is well suited to depict change and largeness of velocity and acceleration. We concluded that expressing the direction of the movement by using the vector based line segments and color of triangle surfaces is well suited in order to match to the alternation of motion.

1. はじめに

動作情報の可視化について近年では様々な方法が用いられている。スポーツ等の分野においては、選手の動きを高速ビデオカメラで撮影し、映像から分析する方法が簡便で安価であるため一般的である[1]。昨今では動作情報を正確に測定するためのモーションキャプチャシステムが普及したことにより、測定したい部位にマーカーを張り付けることで、測定精度が向上すると同時に、定量的な分析も容易に行えるようになった。これにより人間工学の分野において様々な研究・開発応用が行われている[2][3]。

モーションキャプチャシステムを利用した解析手法としては、関節角度や部位の速度、加速度などの定量値の計算、二次元グラフやマーカーの測定箇所を線分で繋ぐステイックピクチャ表示などによる解析が主に用いられている。一方、物理現象や環境変動の三次元空間における可視化においてはAVSなどのメーカーが開発している専門ソフトウ

ェア、研究機関が制作したソフトウェアなど、様々なものを利用する。例えばAVSは汎用可視化ソフトウェアであり、流体力学や交通情報、気象分野等の広範な分野で活用されるソフトウェアで、可視化の手法も様々なものがある。動作データの可視化を目的として研究機関が開発したソフトウェアの一例としては独立法人、新エネルギー・産業技術総合開発機構が、モーションキャプチャから測定された情報より、全身の筋肉と神経の情報を推定し視覚化して、神経筋疾患の診断やそのリハビリテーションを支援するシステムが開発されている[4][5]。

モーションキャプチャシステムを利用したデータの表現の方法として動作や筋肉の動きなど人間の体のものについては可視化の研究が進み多種多様なものがあるが、動きの軌跡やマーカーの生み出す速度、加速度など身体全体を動きから直接的に把握することの難しい情報の可視化手法の研究はまだあまりその例を見出せないように思われる[6][7]。

本研究ではモーションキャプチャシステムで得られる動作情報において、身体の動きから直観的に把握することが困難な、動きの速度・加速度の大きさや変化、軌跡の形状を可視化することを目的とする。可視化の方法は、三次元空間内で、速度や加速度の大きさや向きを球や三角錐の大きさや色などに変換して表示するものである。提示情報

^{†1} 名古屋市立大学 大学院芸術工学研究科
Graduate School of Design & Architecture, Nagoya City University.
2-1-10, Kita Chikusa, Chikusa-ku, Nagoya, 464-0083

^{†2} 愛知工業大学 情報科学部メディア情報学科
Aichi Institute of Technology
1247 Yachigusa, Yakusa Cho, Toyota City, Aichi Prefecture 470-0392

^{†3} 福井大学
University of Fukui
3-9-1 Bunkyo, Fukui City, Fukui Prefecture, Japan. 910-8507

が速度か加速度か、あるいはその大きさか、向きか、変化か等に応じて、適した形状や表示方法を抽出するために複数種類の可視化方法を提案し、情報の把握しやすさをアンケートにより評価した結果を述べる。

2. 方法

2.1 モーションキャプチャシステム

動作データの測定には(図 1)に示す Vicon MotionCapture System (Vicon 社製)を用いた。カメラの台数は 10 台で全て MX-T10 を使用している。このカメラの画素数は 100 万画素、フル画角計測周波数は 1000Hz、最高計測周波数は 2000Hz である。今回の計測では 120Hz で計測を行っている。ソフトウェア Vicon Nexus を用いてデータの三次元構築、マーカのラベリングを行う。座標軸は(図 2)の通りであり、マーカは(図 3a)、(図 3b)に示すように装着した。

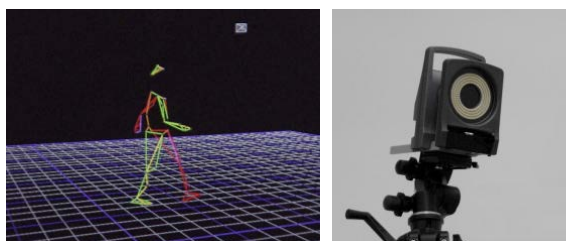


図 1 Vicon Nexus ソフトウェアと赤外線カメラ(MX-T10)

Figure 1 Vicon Nexus software and motion capture camera(MX-T10).

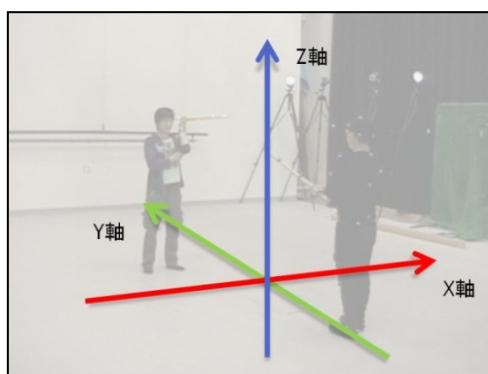


図 2 実験の様子と軸の方向

Figure 2 Experiment scenery and axes of the movement

2.2 可視化方法の概念

モーションキャプチャシステムは計測情報を三次元空間で扱うため情報の要素が多次元になり(x位置, y位置, z位置, 時間)また張り付けるマーカ数の分だけ情報量が増えるので、解析に多大な時間と困難を伴うことが多い。本研究ではまず一か所重要だと思われる竹刀の先端マーカ箇所を抽出し、そのマーカの軌跡を描いた。その後、そ

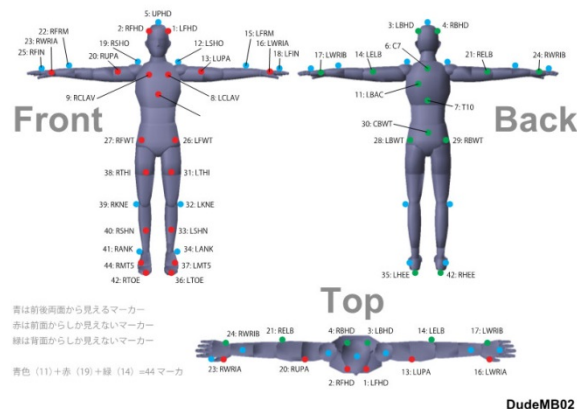


図 3a モーションキャプチャシステムにおけるマーカ貼り付け位置(44か所)

Figure 3a Placing 44 markers for motion capturing.

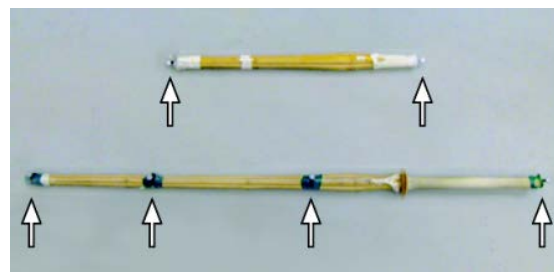


図 3b 竹刀のマーカ貼り付け位置 (全6か所)

Figure 3b Placing 6 markers on bamboo sword.

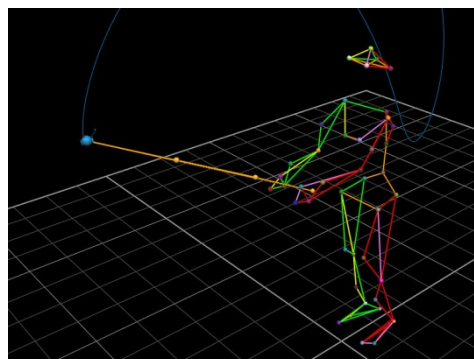


図 4 3DCG による可視化

Figure 4 Visualization using 3DCG.

の部位の速度、加速度を計算式によって算出し今回は4種類の可視化方法で表示し検討を行った。

この4種類は現在、剣道の竹刀の先端の動きを考察する上で妥当ではないかと考えている方法で、モーションキャプチャの編集ソフトウェアで通常表示される可視化方法を「3DCGによる可視化」(図4)、三次元可視化において一般的であるベクトル表現を利用し、速度の大きさを球形、加速度の大きさを三次元空間における三軸方向(x方向, y方向, z方向)へ分解可視化したものを「ベクトルによる可視化」(図5)、速度の大きさを球形、加速度の大きさを三軸方向へ分解したベクトルに線ではなく体積の要素を持

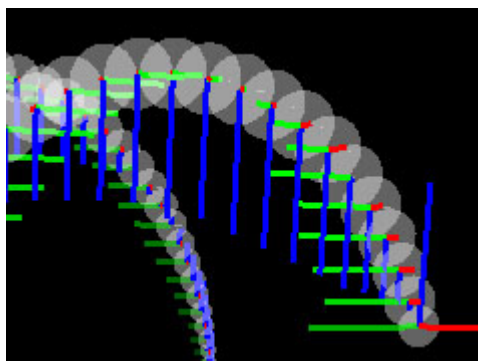


図 5 ベクトルによる可視化
 Figure 5 Visualization by vector.

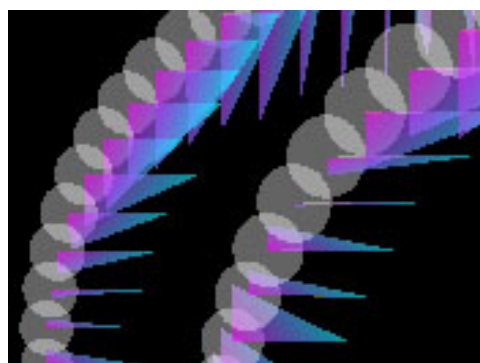


図 6 三角形と球による可視化
 Figure 6 Visualization by triangles and spheres.



図 7 色と球による可視化
 Figure 7 Visualization by colors and spheres.

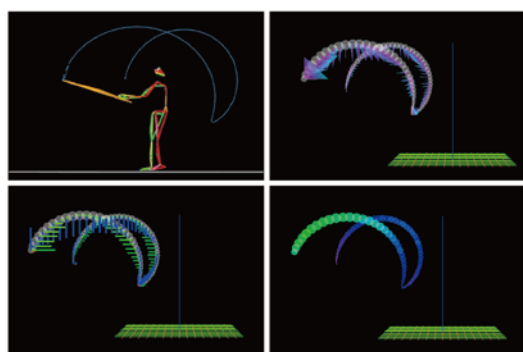


図 8 4 種類の可視化の様子
 Figure 8 4 types of visualization.

たせるため、現在位置から発生する x 方向, y 方向, z 方向

のベクトルを結び三角錐を形成し表示したものを「三角形と球による可視化」(図 6), 速度の大きさを球形, 加速度の大きさを三軸方向へは分解せずに色情報のみで表現したものを「色と球による可視化」(図 7) とした。(図 8) は一つの動きを側面から比較したものである。左上が「3DCG による可視化」, 左下は「ベクトルによる可視化」, 右上は「三角形と球による可視化」, 右下が「色と球による可視化」である。

2.3 可視化方法

可視化の具体的な手法については以下の通りである。モーションキャプチャシステムを使用し、被験者に剣道における基本動作である、摺り足面打ちの動作してもらいデータを計測する。カメラから得られたデータを編集し、得られた可視化データが「3DCG による可視化」となる。その後、三次元の位置情報データをタブ区切りのテキスト形式で書き出す。その後、プログラミング言語、プロセッシングで記述したプログラムヘッダを読み込み、各マーカーの位置情報から速度、加速度を算出し、その値を色や形を使った各種の方法で可視化し、残りの三種類の可視化方法をおこなった。

● 「ベクトルによる可視化」について

プログラムによって各フレーム毎の三次元位置情報(x, y, z)の差異から、それぞれの方向における速度及び、それらベクトルを合成した速度の大きさを算出する。また得られた三軸方向の速度の各フレーム毎の差異から x, y, z 方向の加速度を計算し値を出す。またそれらを合成し加速度の大きさを算出した。算出された速度の大きさを球の半径に代入しその大きさを空間上に描く。この時重なり合いによる可視化の分かりにくさを防ぐため一定の透明度持たせた。また空間上での大きさ表示に妥当性を出すため全体を規定の値で除算してある。

● 「三角形と球による可視化」について

速度の大きさは「ベクトルによる可視化」の可視化と同じ方法である。加速度の可視化方法は x, y, z 三方向の加速度の大きさを現在のマーカーの位置情報との 4 点で結んだ三角錐で表示し平面部分に色情報を持たせてある。x, y,

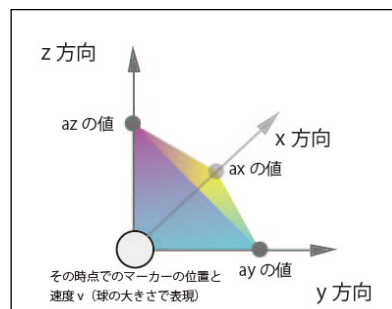


図 9 速度・加速度の三角形を用いた可視化
 Figure 9 Visualizing velocity and acceleration by using triangles.

z それぞれの方向の値が大きくなるほどグラデーションの色味が強くなるようになっている．色は x 方向最大値で RGB256 段階の値 (255,255,0) y 方向最大値で (0,255,255), z 方向最大値で (255,0,255) である (図 9)．

● 「色と球による可視化」について

速度の大きさを球で表示するのは前述の「ベクトルによる可視化」, 「三角形と球による可視化」と同じであるがその球体の色に単色ではなく, 最小値は紫, そこから青, 最大値では赤へと変化するスペクトルの色表現を利用して加速度の大きさを可視化している．なお, この可視化では球体で速度, 加速度の両方を表示させるため三軸方向への分解表示はしていない．以上が可視化手法の概要及び具体的手法である (図 10)．



図 10 加速度の大きさに割り当てた
カラースペクトル

Figure 10 Color spectrums for expressing acceleration.

3. 可視化方法の評価実験

この可視化システムについて検討するための一例として今回は剣道面打ちの動作を用いて評価実験を行った．剣道のデータについては被験者三人のデータを用意した．剣道の経験についてはそれぞれ教士, 10 年経験者, 初心者の三人であり, 同じ動作を 5 回試行してもらいその中で安定して計測できた 3 回目のデータを抽出している．剣道のモーションデータは, 動作始めの合図から左足踵が動き始める瞬間より剣道の竹刀の先端が打ち込み棒にあたる瞬間までで切り出している．これは, 打ち込み棒へ当たった衝撃で加速度に非常に大きな値が出てしまい, 視覚化において不必要な要素となってしまうからである．

これらデータを 4 種類の方法で可視化し, 可視化の違いから生ずる情報の理解度を客観的にするため, 以下のような手順でアンケート調査評価を行った．評価手順は以下のとおりである．

最初に剣道の面打ち動作のビデオ映像を流し, その後それぞれの可視化手法で可視化された 4 種類の映像を見てもらった．最後に 5 段階評価でアンケート用紙へ記入してもらった (図 11), (図 12)．

質問は以下の 7 項目である．

- 質問 1 速度の大きさが分かり易いかどうか?
- 質問 2 速度の変化が分かり易いかどうか?
- 質問 3 加速度の大きさが分かり易いかどうか?
- 質問 4 加速度の変化が分かり易いかどうか?
- 質問 5 加速度の向きが分かり易いかどうか?

質問 6 三次元空間での軌跡が分かり易いかどうか?

質問 7 この動画を見て思ったこと, 感じたことなどがあれば教えてください．(自由設問)

アンケートの対象は 20~30 代の男女 15 名である．剣道経験の有無についても調査した．



図 11 被験者 3 人の剣道面打ち動作のビデオ
Figure 11 capturing video for 3 subjects acting
Men-uchi in Kendo.

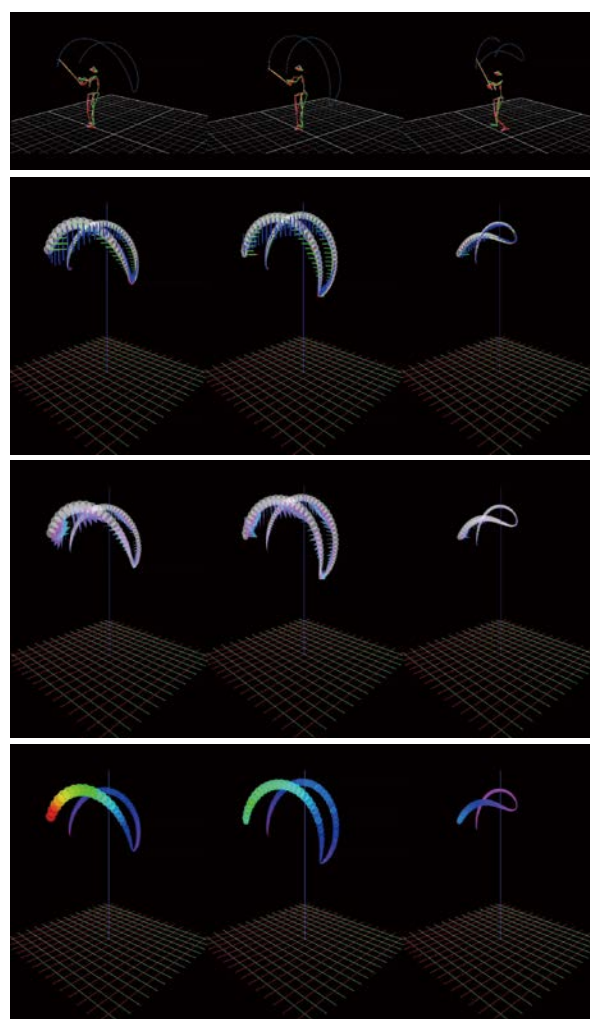


図 12 被験者 3 人の 4 種類の可視化映像
Figure 12 4 type of visualization video
belonging to 3 subjects.

4. 結果と考察

表示方法に対するアンケート結果の変動を一元配置分散分析と多重比較により分析した．分散分析の結果, 6 質問項目すべてについて, p 値 5 %未満で表示方法に対して

有意な変動が認められた．多重比較を行った結果を質問 1～6 について述べる．

● 質問 1 「速度の大きさが分かり易いかどうか？」

「3 DCG による可視化」は、他の 3 表示方法、何れに対しても、p 値 5%未満で有意に値が小さい．すなわち、速度の大きさの分かり易さが 3 DCG では、他の方法と比較して劣っているとの結果であった．

● 質問 2 「速度の変化が分かり易いかどうか？」

「3 DCG による可視化」と「色と球による可視化」の間で p 値 5%未満で有意に値が小さくなった．すなわち、「色と球による可視化」は「3 DCG による可視化」と比べて速度の変化の分かり易さが優れているとの結果であった．

● 質問 3 「加速度の大きさが分かり易いかどうか？」

「3 DCG による表現」は「色と球による表現」との間で p 値 0.1%未満で値が小さい、すなわち加速度の大きさの分かり易さは「色と球による可視化」の方が「3 DCG による可視化」に対して優れているとの結果であった．また「3 DCG による可視化」は「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」との間でも p 値 5%未満で有意に値が小さい、すなわち「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」は、加速度の大きさの分かり易さが、「3DCG による可視化」に比べて優れているという結果であった．

● 質問 4 「加速度の変化が分かり易いかどうか？」

質問 3 と似たような傾向が現れた．「3 DCG による可視化」は「色と球による可視化」との間で p 値 0.1%未満で有意に値が小さい．すなわち加速度の変化の分かり易さは「色

と球による可視化」のほうが「3 DCG による可視化」に比べて優れているとの結果が出た．また「3 DCG による可視化」は「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」との間でも p 値 5%未満で有意に値が小さい、すなわち加速度の変化の分かり易さは「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」のほうが「3 DCG による可視化」よりも優れているという結果であった．

● 質問 5 「加速度の向きが分かり易いかどうか？」

「色と球による可視化」と「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」それぞれの間に p 値 5%未満で有意に値が小さい、すなわち加速度の向きは「ベクトルによる可視化」、「三角形と球による可視化」の方が「色と球による可視化」に対して優れているという結果であった．

● 質問 6 「三次元空間での軌跡が分かり易いかどうか？」

「色と球による表現」と「3 DCG による可視化」との間で、p 値 7%未満で有意な傾向があることがわかった．これにより三次元空間での軌跡の分かり易さは「3 DCG による可視化」の方が「色と球による可視化」に対して優れているという結果であった．

● 質問 7 自由設問

自由設問において、剣道の有段者 2 人からの回答を得ている．この中で、剣道歴 13 年の回答者は自身の熟達度をより向上させるために、熟練者の加速度の値を詳細に見ることが有益なため、ベクトル表現で三軸方向へ分解されている視覚化表現がとても興味深いとのことであった．

もう一人の剣道歴 10 年の回答者は球表現のものが、速

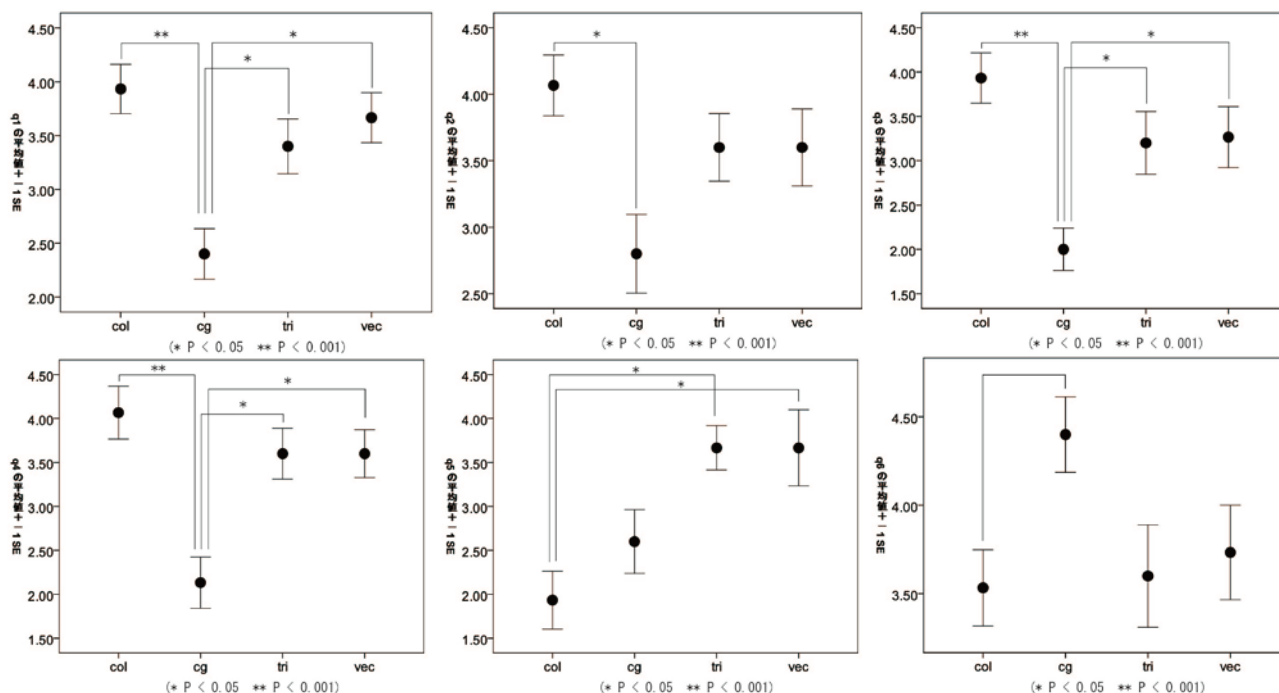


図 13 アンケートの分散分析及び多重比較による結果

Figure 13 The results of analysis of variance and multiple comparison .

度と加速度が単純でわかりやすい形となっているため、熟練者の加速度の視覚化と自分との差異が明確になり、このことから自分の剣道のフォームの軌跡・速度・加速度を同時修正できることが有用で、また教材用ツールとしての応用の可能性があるとの回答であった。

また可視化の形状の美しさについての回答が剣道の非経験者複数名から得られた。どちらが美しいかについては「ベクトルによる可視化」と「三角形と球による可視化」で意見が分かれていた。

5. まとめ

本研究では動作を対象として、軌跡、速度、加速度等、ビデオや3DCGアニメーションから直観的な認識が困難な情報の可視化方法の提案を目的とした。4種類の可視化を行い、15名の参加者の協力を得てアンケートによる評価を行った。その可視化表現の方法として、伝達したい情報、活用目的に応じて、動作から抽出する定量値、それを表現する媒体が異なることが確認できた。今回の4種類の方法にも一長一短があり、そのすべての良さを包括するような視覚表現を実現するより、状況により方法を切り替えるような可視化表現が適していると考えられる。例えば、詳細な分析が必要であれば、定量化された数値で判定するのが最も明瞭である。大量のデータから必要なデータのみを可視化手法を通じて抽出し、その概形を素早く把握するには色や形を使った可視化表現が有用だと考える。

今後、状況による可視化の場合分けについても考慮し、例えば剣道を対象とした、自由設問の意見にも見られたような、剣道に必要な可視化データが分かりやすく提示できるようなシステムを制作し、その動きを可視化して、それを見ることで学習し、実際の動きへ反映されるようになれば教材としての有用性が非常に高いものになると思われる。

また今回の研究では評価に重要と思われる竹刀先端の動きに注目して可視化を行ったが、その他の部位についての関係性等を考慮するため、複数マーカーについても可視化を行えるシステムの開発も重要だと考える。

参考文献

- [1] 篁 俊市郎, 斎藤 隆文, 田中 秀幸: スポーツ指導のためのビデオ映像処理, 情報処理学会研究報告. グラフィクスとCAD研究会報告 2003(15), 37-42, 2003-02-14
- [2] 松河 剛司, 横山 清子, 梅谷 智弘, 永田 雅典: モーションキャプチャと3DCGを用いた動作解析システム, The Japanese journal of ergonomics 45(2), 82-98, 2009-04-15
- [3] 長谷 和徳, 梶 大介, 松山 幸弘: 草鞋を模擬した足部装具が身体運動に及ぼす影響の生体力学分析 (筋骨格モデルによる装着方法の比較), The Japanese journal of ergonomics 46(1), 61-67, 2010-02-15
- [4] サイバネットシステム株式会社: CYBERNET AVS Express, <http://www.cybernet.co.jp/avs/>
- [5] 山根 克: モーションキャプチャでの運動計測の結果から全

身筋と神経情報を推定し, 神経筋疾患の診断とリハビリテーションの支援を可能にする新システム

http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_0466A.html

[6] 酒井賢人, 水谷裕介, 篠田之孝, 三戸勇氣, 渡沼玲史, 小沢徹, 丸茂美恵子: モーションキャプチャを用いた日本舞踊の動作解析の可視化システムの構築, 平成 24 年度 日本大学理工学部 学術講演会論文集 L-67.

[7] 田代裕子 斉藤剛: モーションキャプチャを用いた動きの可視化, 2008 年 電子情報通信学会総合大会 D-11-69.